

Status und Ausblick Wärmepumpen für Gewerbe, Prozess- und Industriekälte

Dr.- Ing. Rainer M. Jakobs
DMJ Beratung, Breuberg

Folie 1

7.5.2010

Jakobs

Wärmepumpen



Agenda

- Einführung
- Wärmebedarf und Wärmebereitstellung
- Definition Systeme Anwendungen
- Hemmnisse
- Potentiale
- Entwicklungen
- Projekt IEA Annex Industrial Heat Pumps
- Ausgeführte Anlagen
- Zusammenfassung

Folie 2

7.5.2010

Jakobs

Wärmepumpen



Wärmepumpenanwendung

Einführung

Privat



Gewerbe



Industrie



**Fernwärme und -
kälte**

Folie 3

7.5.2010

Jakobs

Wärmepumpen



Innovative Wärmepumpen Anwendungen

Einführung

**Laundry dryers
Wäschetrockner**



**Heating of electric cars
Heizung von elektrisch
betriebenen Fahrzeugen**



**Industrial heat pumps
Industrie Wärmepumpen**



Folie 4

7.5.2010

Jakobs

Wärmepumpen



Waschen und Trocknen mit Wärmepumpe

Einführung



Heat pump washing and drying machine

In November 2005, the world's first washing machine that dries clothes by heat pump was introduced to the Japanese market.

Operating on the same principle as outdoor and indoor units of an air conditioner, the machine is so unique that it performs simultaneously drying and heating with warm air, with little consumption of energy.

Quelle: hptcj
Netzwerk
Kälteeffizienz
Hamburg

Folie 5

7.5.2010

Jakobs

Wärmepumpen



Einführung

Wärmepumpen- wäschetrockner

Quelle: Miele

Netzwerk
Kälteeffizienz
Hamburg

Folie 6

7.5.2010

Jakobs

Wärmepumpen

Wärmepumpen Anwendungen

Einführung

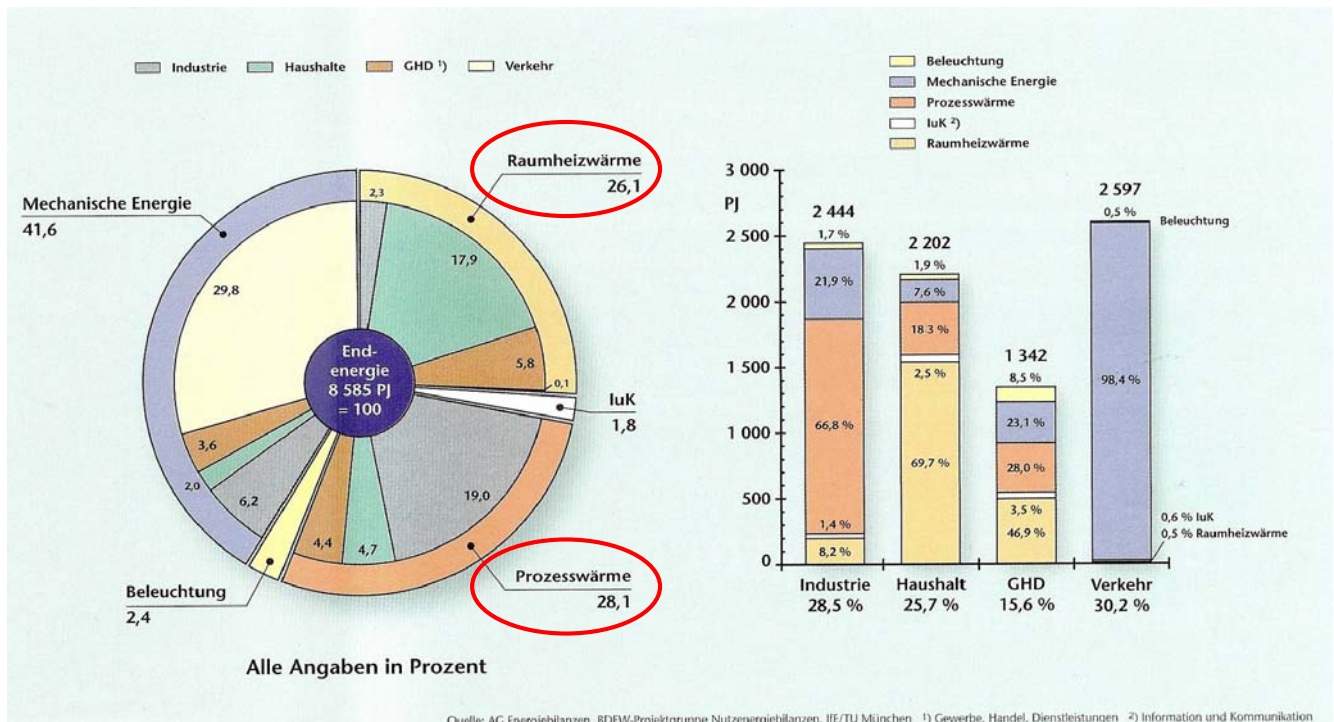


Agenda

- Einführung
- Wärmebedarf und Wärmebereitstellung
- Definition Systeme Anwendungen
- Hemmnisse
- Potentiale
- Entwicklungen
- Projekt IEA Annex Industrial Heat Pumps
- Ausgeführte Anlagen
- Zusammenfassung

Deutschland Endenergie 2007

Wärmebedarf



Folie 9

7.5.2010

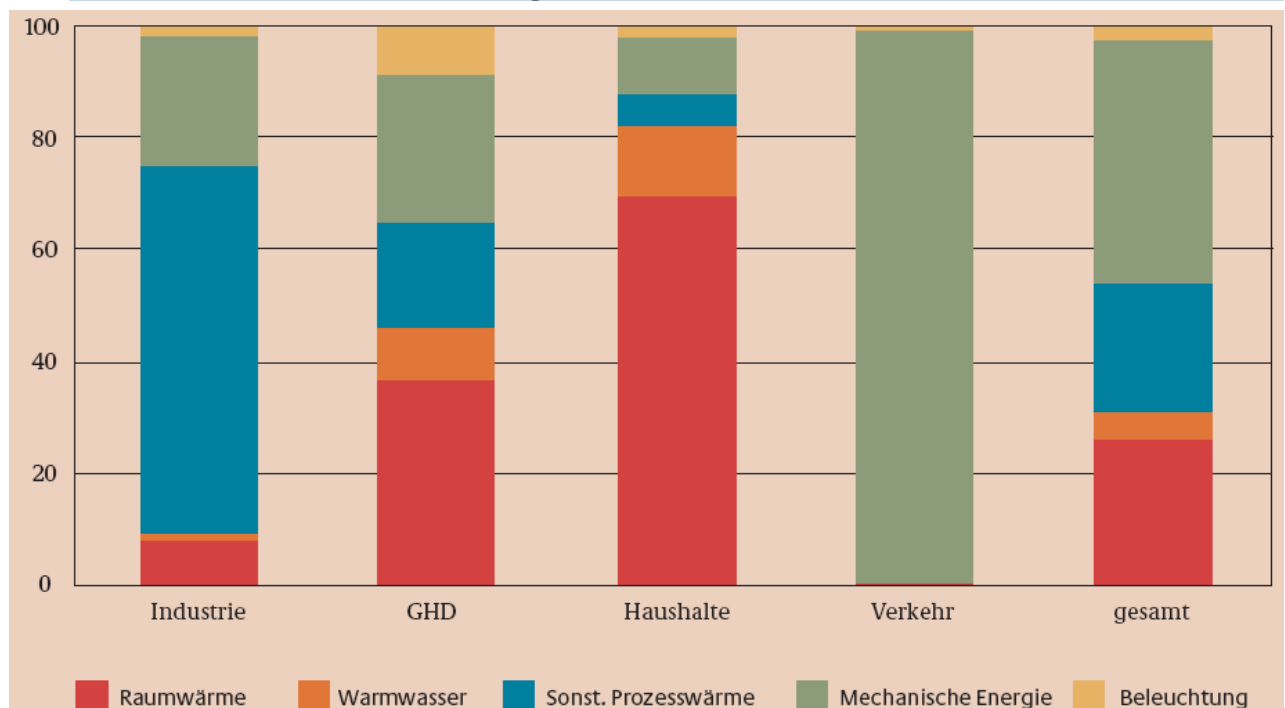
Jakobs

Wärmepumpen



Deutschland 2007: Endenergie nach Anwendungsbereichen in %

Wärmebedarf



Folie 10

7.5.2010

Jakobs

Wärmepumpen



Wärmebedarf in Deutschland

Wärmebedarf

■ **2007 war der Wärmebedarf in Deutschland für nahezu 55 % des gesamten Endenergieverbrauchs verantwortlich.**

■ Den größten Bedarf hatten die Industrie + GHD*, mit **60 %** des gesamten Wärmebedarfs und mehr als **30 %** des gesamten Endenergieverbrauchs

■ Gefolgt von den Haushalten mit **40 %** des Wärmebedarfs und mehr als **20 %** des gesamten Endenergieverbrauchs

* GHD = Gewerbe Handel Dienstleistungen



Folie 11

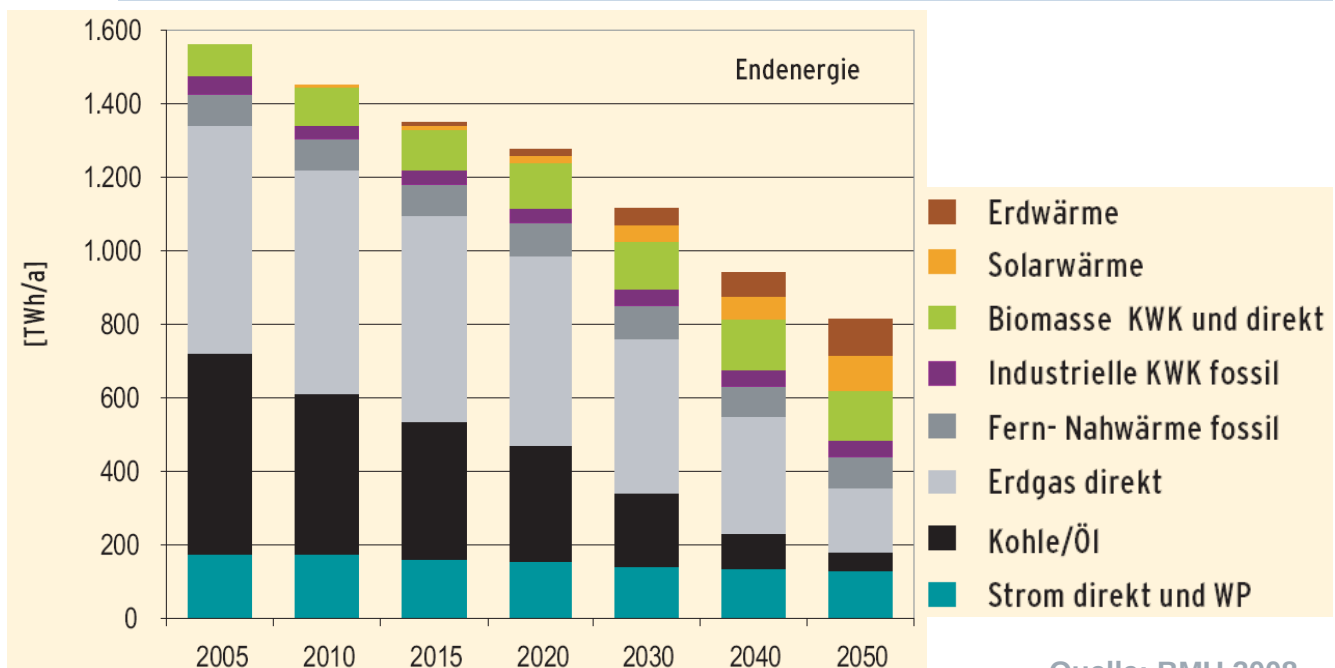
7.5.2010

Jakobs

Wärmepumpen

Entwicklung der Wärmebereitstellung

Wärmebedarf



Quelle: BMU 2008



Folie 12

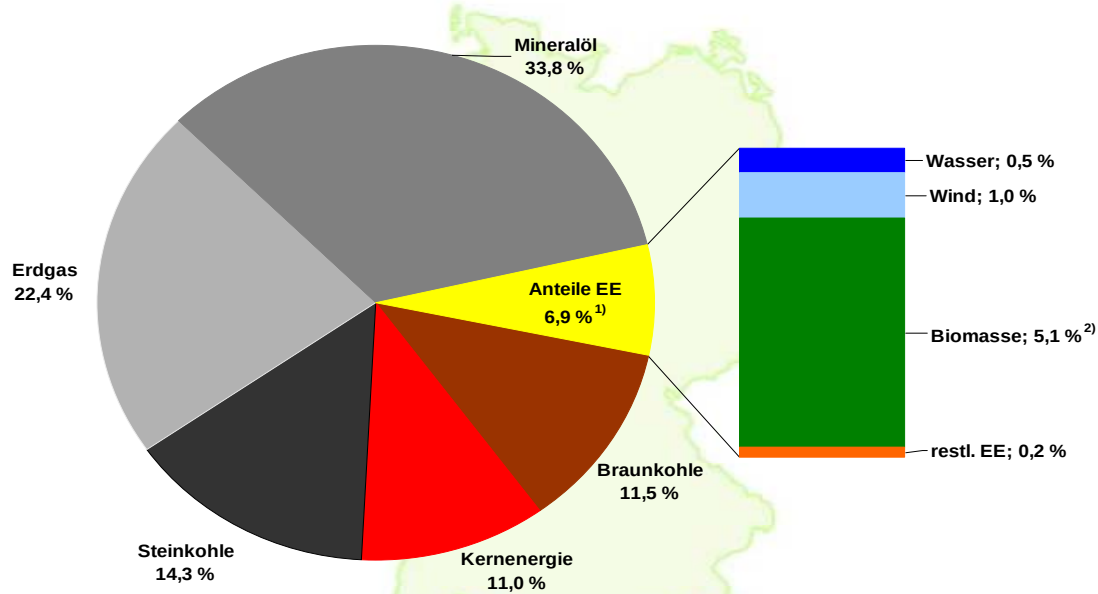
7.5.2010

Jakobs

Wärmepumpen

Struktur des Primärenergieverbrauchs in Deutschland 2007

Gesamt: 13.993 PJ



¹⁾ berechnet nach Wirkungsgradmethode; nach Substitutionsmethode: 9,4 %; ²⁾ feste, flüssige, gasförmige Biomasse, biogener Anteil des Abfalls, Deponie- und Klärgas; EE: Erneuerbare Energien; Quelle: BMU-KI III 1 nach AGEE-Stat, ZSW, unter Verwendung von Angaben der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB); Abweichung in der Summe durch Rundungen; Stand: 15.12.2008; Angaben vorläufig

Erneuerbare Energien in Deutschland

Wärmebedarf

Nur 7,7 % des Wärmebedarfs kommt aus erneuerbaren Energien.

Der Rest stammt aus endlichen Energiequellen wie Erdgas, Mineralöl und Kohle.

Allein Erdgas und Mineralöl decken zusammen fast drei Viertel des deutschen Wärmebedarfs.

Definition

„Industriewärmepumpen“

Definition

**Wärmepumpen für höhere Temperaturen
im mittleren und hohen Leistungsbereich, zur
Wärmerückgewinnung und Temperaturerhöhung
in industriellen Prozessen,**

die aber auch

**zum Heizen, Kühlen und Klimatisieren
in industriellen und gewerblichen Gebäuden
sowie im Geschößwohnungsbau und
zur Fernwärme eingesetzt werden.**



Folie 15

7.5.2010

Jakobs

Wärmepumpen

Industriewärmepumpe

Definition

**Die Wärmepumpe ist der einzige bekannte
Prozess, der industrielle Abwärme in den
Wärmeproduktionsprozess zurückführt**

und

**damit den Bedarf an fossiler Energie und die
CO₂-Emissionen drastisch reduziert.**

- **Verbesserung der Produktivität u. Leistungs-
fähigkeit von industriellen Prozessen**
- **Qualität des Endprodukts verbessern**



Folie 16

7.5.2010

Jakobs

Wärmepumpen

Wärmequellen und -senken von industriellen Wärmepumpen

Systeme

Wärmesenke

- | | |
|----------------------------|-----------|
| • Niedrigsttemperaturwärme | ca. 15°C |
| • Gebäudebeheizung | ab 35°C |
| • Reinigung | ab 60°C |
| • Prozesswärme | 120-150°C |

Wärmequelle

- | | |
|---|---------------|
| • Natürliche Quellen (Luft, Wasser, Erdreich) | bis 20°C |
| • Abwärme (Kühlwasser, Prozessabwärme) | bis ca. 100°C |

Folie 17

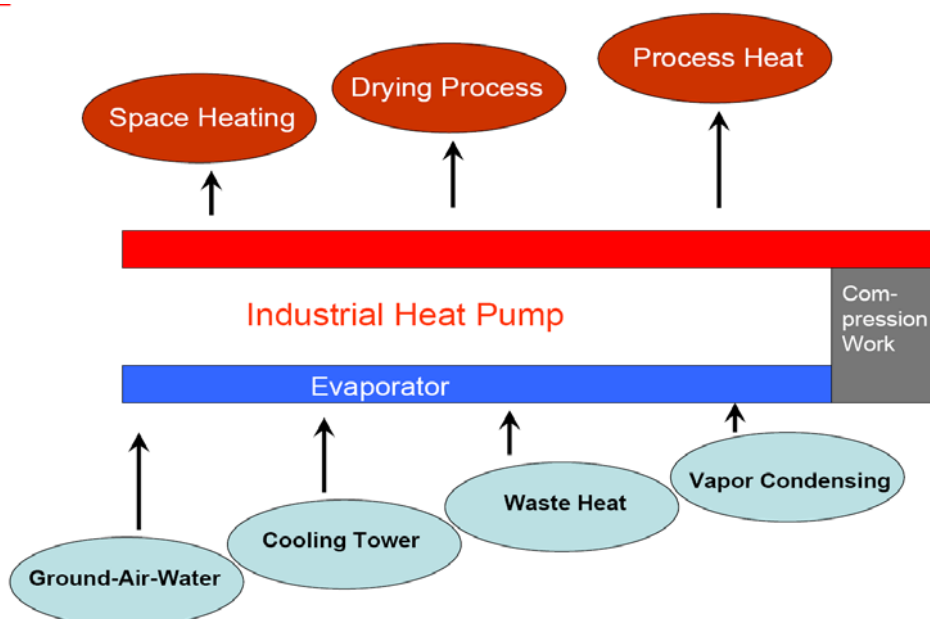
7.5.2010

Jakobs

Wärmepumpen



Heat Source and Heat Sink in industrial Heat Pump application



Folie 18

7.5.2010

Jakobs

Wärmepumpen



Gegenwärtige Marktinformationen bestätigen, dass industrielle Wärmepumpen, die eine zuverlässige und bewährte Technologie darstellen, unter den gegenwärtigen Bedingungen nur ein begrenztes technisch-ökonomisches Potential zur Verbesserung der Energie-Effizienz in der Industrie haben.

Hemmnisse

Hemmnisse

- Geforderte Amortisationszeit ≤ 4 Jahre (Prozesstechnik ≤ 2 Jahre, Gebäude/Heizung $\leq 6 - 8$ Jahre). **Mit steigenden Energiepreisen werden industrielle Amortisationszeiten leichter erreichbar**
- Konkurrenz durch konventionelle Wärmerückgewinnung, konkurrierende Technologien zur Abdeckung höherer Temperaturbereiche bereits installiert
- Prozessspezifische Auslegung notwendig
- Einbindung in bestehende Systeme aufwendig und kostenintensiv
- Risiken hinsichtlich der Produktionssicherheit
- Realisierbares Temperaturniveau für viele Anwendungen bislang zu gering
- Fehlendes Wissen hinsichtlich der Wärmepumpentechnik in der Industrie, Beratungsfirmen, Versorgungsunternehmen, etc.

Hemmnisse: Kältemittel

Hemmnisse

Grenzbereich gegenwärtiger HFKWs: ~ 80 °C

> 80 °C: **$\text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}$; NH_3 ; CO_2**
Propan, Butan
einige HFKWs:
Pentafluorpropan (R245fa)
Pentafluorbutan (R365mfc)

Industriewärmepumpen

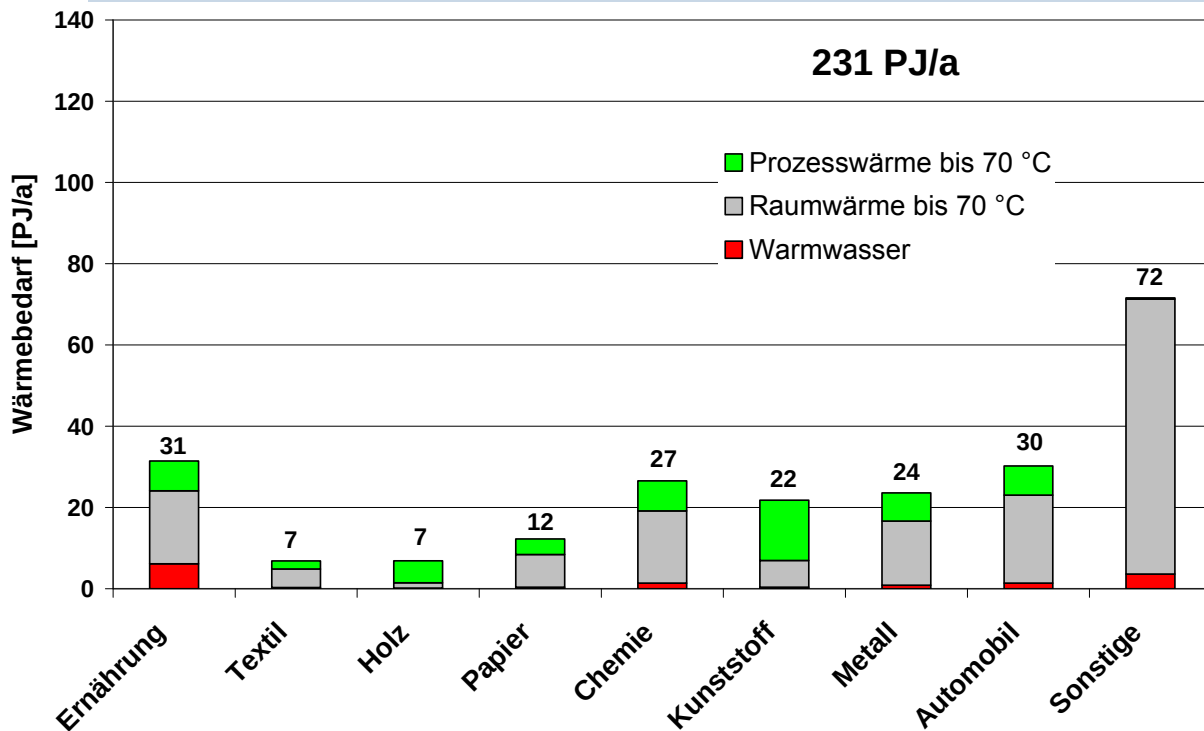
Potentiale

Industrie WP bieten in Deutschland die realistische Möglichkeit, ca. 50 % des Wärmebedarfs der Industrie und des Gewerbes zur Verfügung zu stellen.

**Dies würde 2007 ca. 2.000 PJ oder
ca. 20 % des gesamten Endenergie-
Verbrauchs entsprechen**

Technische Potenzialanalyse Deutschland

Potentiale



Quelle: IER Stuttgart



Folie 23

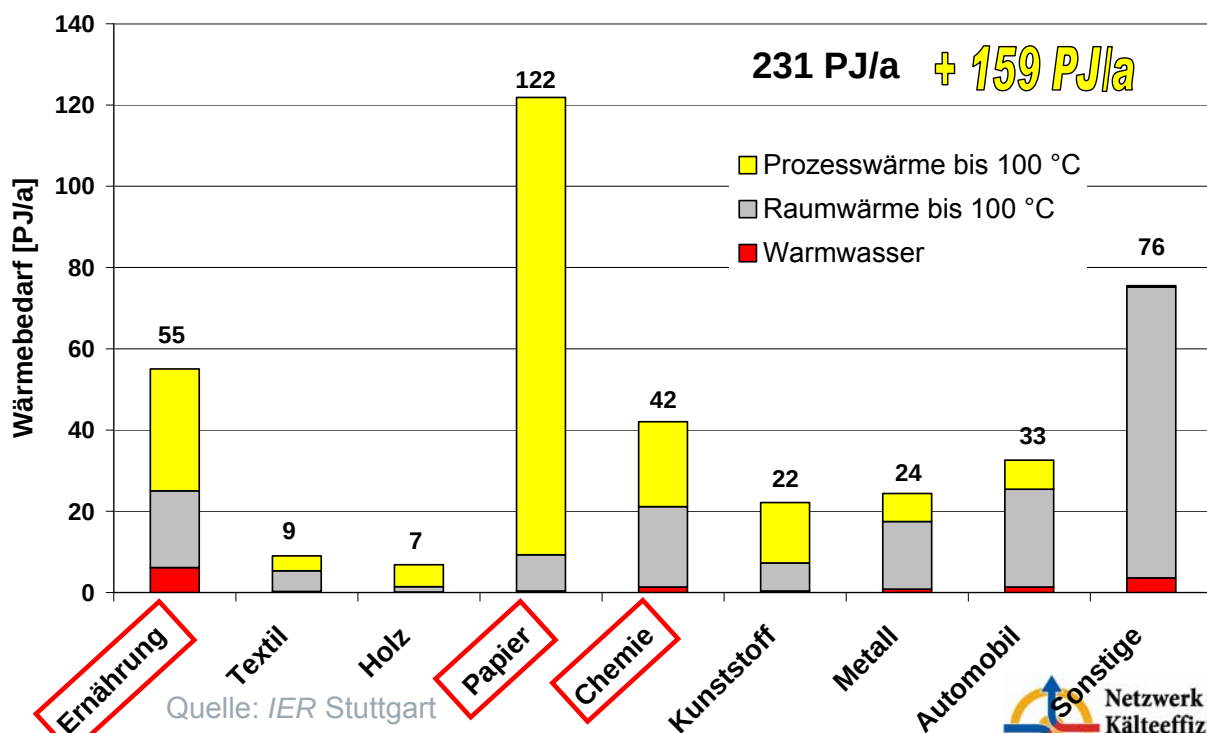
7.5.2010

Jakobs

Wärmepumpen

Technische Potenzialanalyse Deutschland

Potentiale



Quelle: IER Stuttgart



Folie 24

7.5.2010

Jakobs

Wärmepumpen

Energy consumption in the industries

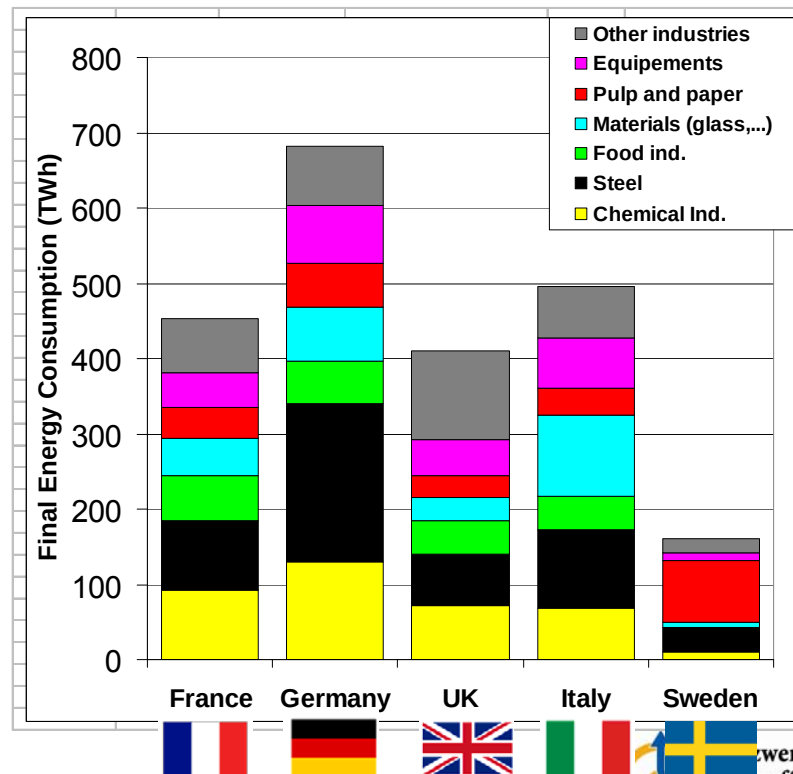
Potentiale

1/3
of electricity

2/3
of oil, gas, coal

Food, steel and chemical industry are the main consumers

Source: EDF



Folie 25

7.5.2010

Jakobs

Wärmepumpen



Potential „Abwärme“ der Kältetechnik

Potentiale

- $Q_o = 165.000 \text{ GWh/a}$ (Stand 1999)
- $Q_c = Q_o + P_{\text{end}}$
- $P_{\text{end}} = 77.000 \text{ GWh/a}$ ($\epsilon_K \sim 2,1$)

$$Q_c = 242.000 \text{ GWh/a} = \mathbf{871 \text{ PJ/a}}$$

$$1 \text{ GWh} = 3,6 \text{ TJ}$$

$$1 \text{ PJ} = 1000 \text{ TJ}$$

- Raumwärme in Deutschland (Stand 2007)

$$Q = \mathbf{2.242 \text{ PJ/a}}$$

Das Potential „Abwärme der Kälte-Klimatechnik“ aus 1999 stellt rund 39% der benötigten Raumwärme in 2007 in Deutschland dar.

Folie 26

7.5.2010

Jakobs

Wärmepumpen



Vorteile der industriellen Wärmepumpe Potentiale

Im Vergleich zur Heizungswärmepumpe

- hohe Leistungszahl (COP) bedingt durch geringere Temperaturdifferenz Quelle - Senke und hohe Betriebstemperaturen
- hohe jährliche Nutzungszeit
- relativ geringe Investitionskosten bedingt durch große Einheiten und geringe Entfernung zwischen Wärmequelle und -senke
- Abwärme und Wärmebedarf gleichzeitig

Forschung und Entwicklungen Entwicklungen

Kältemittel R718

Kältemittel R744

Kältemittel R 717

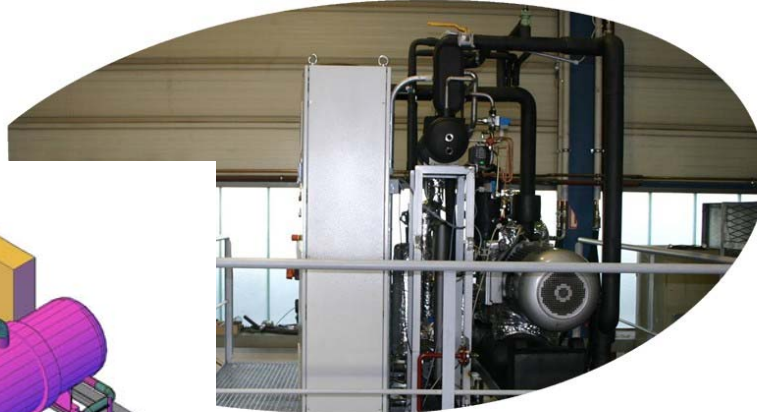
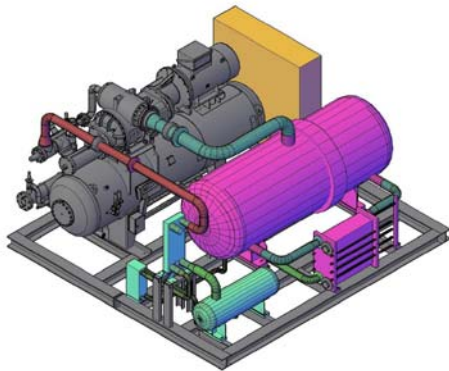
Gemische R717-R718

R718 Hochtemperatur Wärmepumpe

Entwicklungen

We turn green to blue

High Temperature – Heat Pump
by using refrigerant R718 (water)



Quelle:



Folie 29

7.5.2010

Jakobs

Wärmepumpen

thermea.HP - CO₂- Hochtemperaturwärmepumpen



Folie 30

7.5.2010

Jakobs

Wärmepumpen



■ Projekt IEA Annex Industrial Heat Pumps

■ Rückblick

■ Konzept

IEA HPP Annex 21 Global Environmental Benefits of Industrial Heat Pumps (1995)

Für 2010 wurde mit Wärmepumpen eine Einsparung des Energieeinsatzes für Prozesswärme von 2,5- bis 6 % prognostiziert.

Dies führt zu einer Vermeidung von CO₂-äquivalenten Emissionen in Höhe von

25 bis 58 Mio. t CO₂ pro Jahr.

Das entspricht den Emissionen von 15 bis 40 Mio. Autos.

IEA Annex „Industrial Heat Pumps“

IEA Annex

Geplantes gemeinsames Projekt der IEA Implementing Agreements

- Programme of Research, Development, Demonstration and Promotion of Heat Pumping Technologies (HPP)
- Industrial Energy-related Technologies and Systems (IETS)

Folie 33

7.5.2010

Jakobs

Wärmepumpen



IEA HPP IETS Annex „Industrial Heat Pumps“

IEA Annex

Ziel ist: **Minderung des Energiebedarfs und der Treibhausgasemissionen**

- bei der Erzeugung von Wärme durch die Entwicklung, Demonstration, Förderung und den verstärkten Einsatz von Wärmepumpen höherer Temperatur im mittleren und hohen Leistungsbereich
- bei der Wärmerückgewinnung und Temperaturerhöhung in industriellen Prozessen
- beim Heizen, Kühlen und Klimatisieren von industriellen, gewerblichen und privaten Gebäude
- bei der Nutzung von Nah- und Fernwärme

Folie 34

7.5.2010

Jakobs

Wärmepumpen



Aufgabe 1: **Marktüberblick, Hemmnisse und Anwendungsbereiche**

Aufgabe 2: **Modellberechnungen und Wirtschaftlichkeitsmodelle**

Aufgabe 3: **Technologie**

Hochtemperaturwärmepumpen

Prozessintegration

Kältemittel

Aufgabe 4: **Anwendung und Kontrolle**

Betriebserfahrungen

Energieeinsparung und Minderung der CO₂-Emissionen

Aufgabe 5: **Kommunikation**

Verdeutlichung des Potentials (policy paper)

Internet database Training

Industrielle Wärmepumpen

Beispiele

Ausgeführte Anlagen: Beispiele

S Värtan Ropsten ~180 MW Seewasser Fernwärme

S Nimrod Stockholm ~ 48 MW Fernwärme und –kälte

S Hefeproduktion 5 MW

JAP Hochtemperatur WP mit Pentan

D NH₃ WP ~4,4 MW

CH Wohngebäude Sanierung

CH + D Abwasser WP

D Industrieabwärme und „Kaltnetz“

Die größte Seewasser Wärmepumpe Värtan Ropsten 180 MW

Beispiele

6 Einheiten mit
je 30 MW Heizleistung

Elektrische Leistung pro Einheit: 8 MW
Verdampfungstemperatur: $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$
Kondensationstemperatur: $+82\text{ }^{\circ}\text{C}$
Seewassertemperatur ein/aus: $+2.5/+0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$
Heizwassertemperatur Rücklauf: $+57\text{ }^{\circ}\text{C}$
Heizwassertemperatur Vorlauf: $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$
Leistungsregelung: 10–100 %



Quelle: Friotherm



Folie 37

7.5.2010

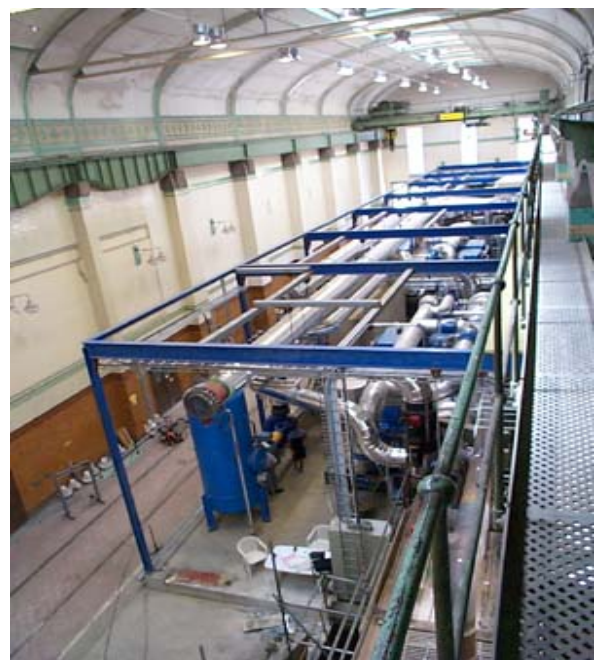
Jakobs

Wärmepumpen

Nimrod / Stockholm City

Beispiele

- District Cooling plant in operation since 2001.
- Capacity 48 MW cooling.
- Sea water chilled.
- Also used for District Heating 36 MW_{th}
- Availability $\geq 99.7\text{ } \%$.



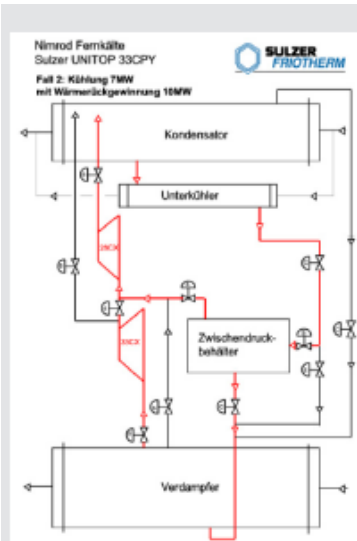
Folie 38

7.5.2010

Jakobs

Wärmepumpen

Nimrod: Kombinierte Fernkälte- und Fernwärmeversorgung mit Großwärmepumpen Beispiele



SULZER UNITOP® 33CY

als komplette Einheit im Werk zusammengebaut und geliefert
Anzahl Einheiten 3

Zwei einstufige Turboverdichter UNITURBO® 33CX und 28CX

wahlweise parallel oder in Serie geschaltet

Kältemittel R134a

Gesamte Leistungsdaten:

Betriebsweise	Sommer	Winter
Kälteleistung	36.000 kW	17.700 kW
Kaltwasser ein / aus	11 / 5°C	11 / 5°C
Kühl- / Heizleistung	43.300 kW	26.700 kW
Kühl- / Heizwasser ein / aus	22 / 37°C	68 / 78°C
Leistungsziffer bezogen auf	Kälte 4,9	Wärme 3,0

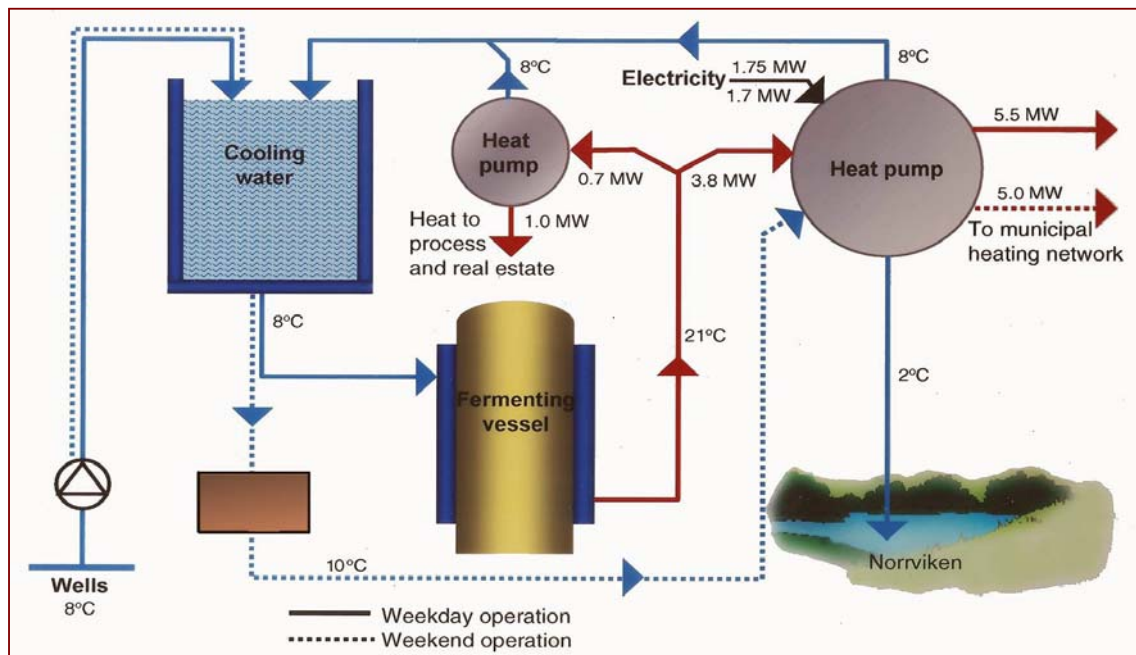
[Quelle: Friothers AG, Schweiz]



Jästbolaget Hefeproduktion Yeast production

Beispiele





Pentanwärmepumpe zur Hochtemperaturanwendung

Beispiele

Prototyp – Japan

Elektrische Leistung : 75 kW
Verdampfungstemperatur: 80 °C
Kondensationstemperatur: 135 °C



Ammoniak-Wärmepumpen HPC 108 S

Beispiele

Maschinenraum mit WP



Leistungsdaten

Quelle: JCI

Heizleistung 4 x 1.100 kW	4.400 kW
Heizwasser Ein/Aus	55 °C / 65 °C
Verdampfung/Verflüssigung	30 °C / 70 °C

Kraftbedarf / Motorgröße	175 kW / 200 kW
8 Zylinder in 4 Stufen	
Bohrungen / Hub	100 / 80 mm
Drehzahl / Fördervolumen	1.460 U/min / 452 m ³ /h
Betriebsdruck	33,5 bar (max.40bar)

Johnson Controls Industrielle Anwendung der Wärmepumpe

Sanierung Wohnhäuser Schweiz

Beispiele

8 Wohnhäuser mit einem Wärmebedarf von 660kW



vorher



Gesamtwärmebedarf 660 kW
davon Wärmepumpe

Heizleistung bei W10/W43	376 kW
Kältemittel	R-134 a
Leistungsaufnahme	82 kW
Heizwassertemperatur max.	+60°C
Heizwassertemperatur min.	+25°C

Beispiele

Gelungene Heizungssanierung
generiert Mehrwert!



Folie 45

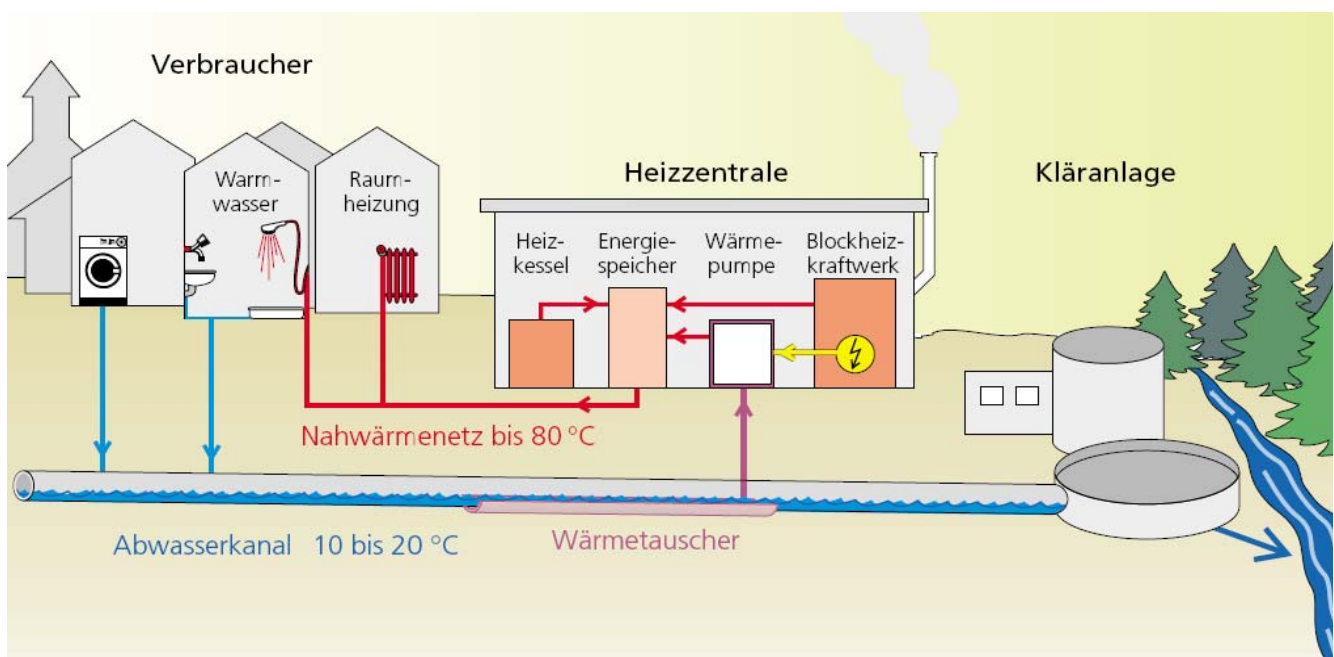
7.5.2010

Jakobs

Wärmepumpen

Energienutzung aus Abwasser

Beispiele



Quelle: BFE Schweiz



Folie 46

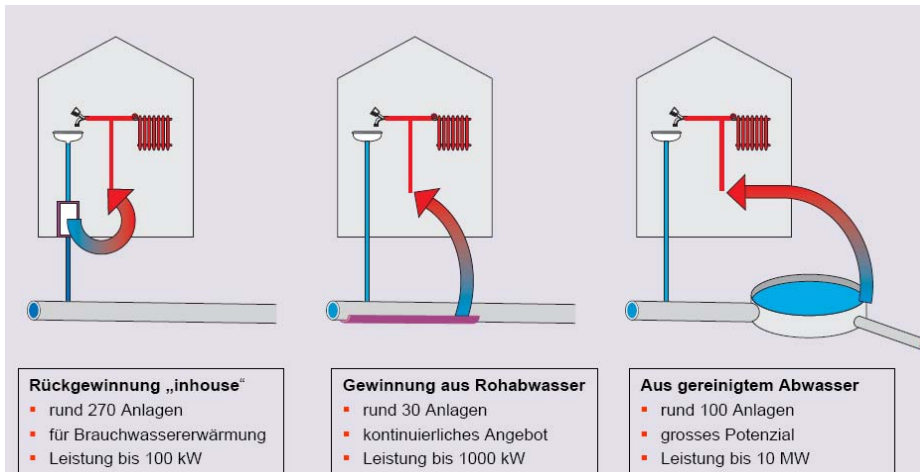
7.5.2010

Jakobs

Wärmepumpen

Energie aus Abwasserwärme

Beispiele



Diverse Quellen



Folie 47

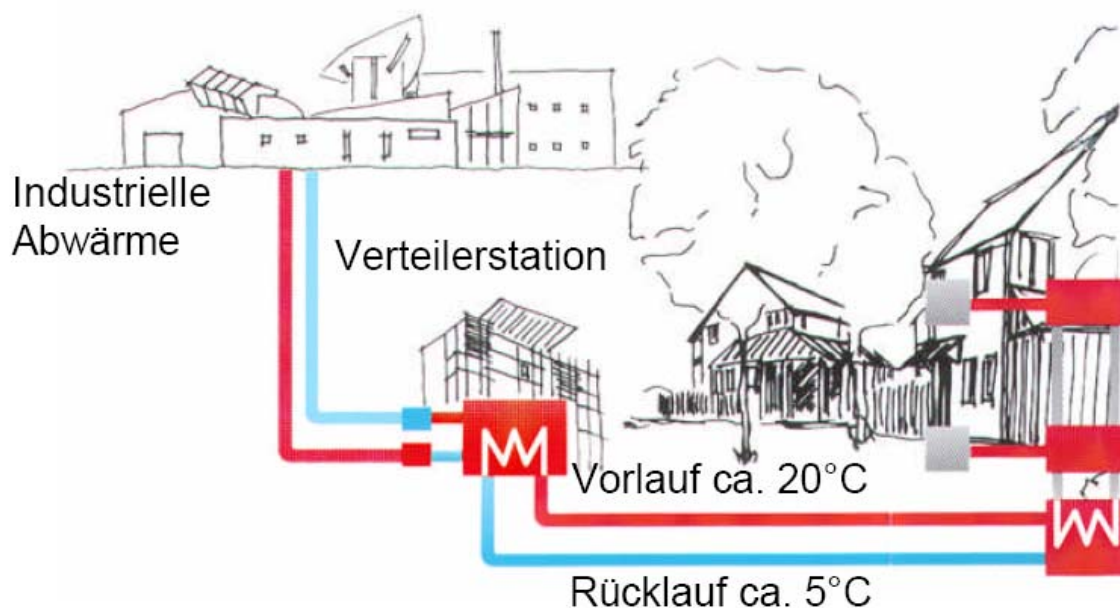
7.5.2010

Jakobs

Wärmepumpen

Industrielle Abwärmenutzung zur Gebäudebeheizung (Kaltnetz)

Beispiele



Folie 48

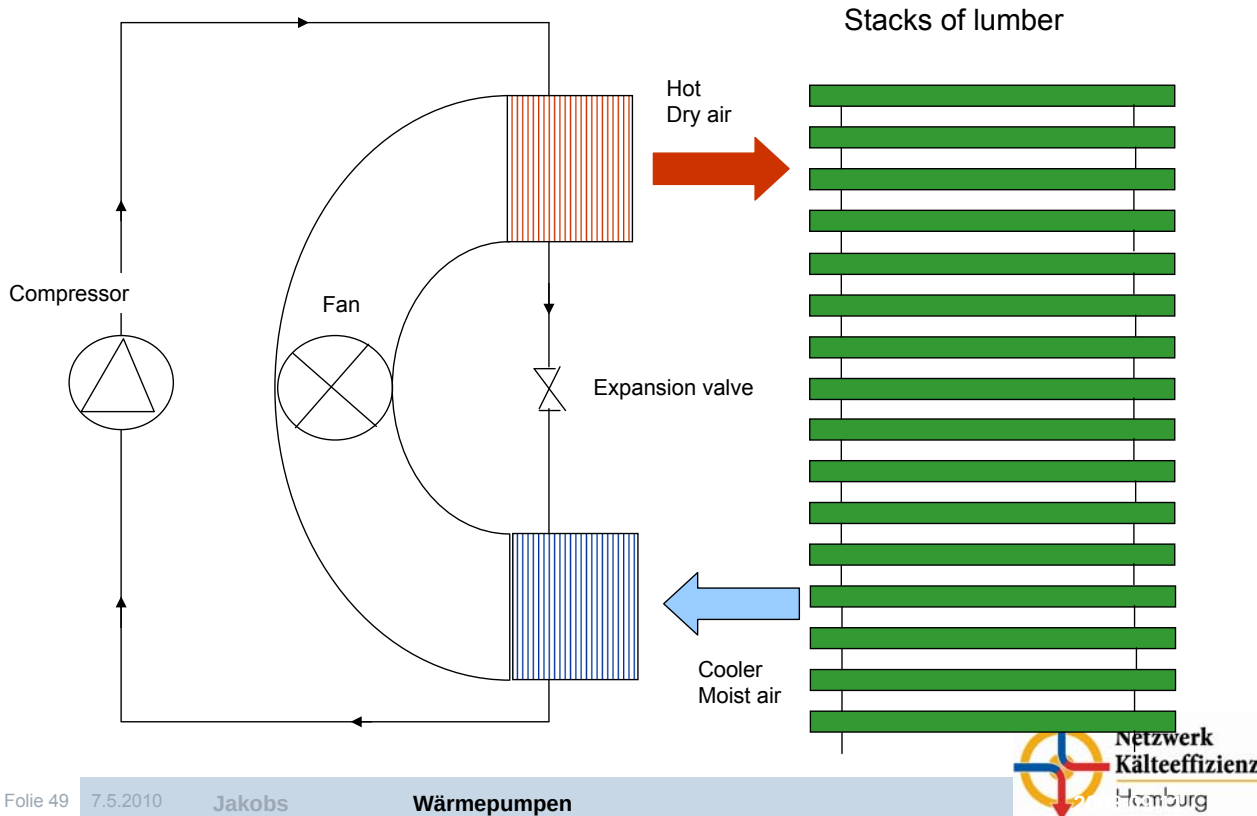
7.5.2010

Jakobs

Wärmepumpen

Lumber drying

Beispiele



Folie 49

7.5.2010

Jakobs

Wärmepumpen

Gas-fired absorption HP paper industry

Beispiele



The value of Robur experience

INDUSTRY

**Driving force
Reduce electricity
Demand!**

Grafiche Antiga, with its 2,300 kW heating capacity and 950 cooling capacity, is one of the largest systems ever installed in Italy using gas absorption heat pumps. The Robur units are installed in multiple modular units serving each one of the departments: printing production, warehouse, storage and the offices. The type of outdoor installation perfectly combined with the ample surface area available on the roofing, making it possible to install the units for the construction of a modern and safe building. The modularity of the solution is also intrinsically more reliable and safe from the perspective of the critical parameters in

industrial applications such as this one. In terms of electrical connection, the chosen solution made it possible to cut down the need for electricity by about 350 kW compared to traditional chillers, avoiding transformers and power factor correction capacitors. The internal distribution is based on fan heater batteries (suitably sized to operate with supply water temperature of 50 °C) for the printing, production and storage areas, while fan coils were used for the office area.

FEATURES

Type of building	graphic industry
Surface area - Volume	15.000 m ² - 92.000 m ³
Type of distribution	hydronic
Distribution terminals	fan heater batteries + fan coils
Number and models of units installed	qty. 11 RTAR300-600 (reversible gas fired absorption heat pump unit for heating and air conditioning) qty. 3 MULTI AY595 (gas fired heater unit) qty. 72 Termoventilanti CR (fan heater for heating and air conditioning)
Nominal heat capacity	2.300 kW
Nominal cooling capacity	950 kW

Folie 50

7.5.2010

Jakobs

Wärmepumpen

Zusammenfassung

- WP werden von 0,5 kW bis >50 MW eingesetzt.
- Wärmebedarf hat den größten Anteil am Gesamtenergieverbrauch in Deutschland.
- WP können erneuerbare Wärmequellen nutzen und in großem Maße CO₂ Emissionen einsparen.
- Bisher Schwerpunkt der WP bei der Gebäudebeheizung.
- Großes Potential in Gewerbe und Industrie vorhanden; Hemmnisse müssen überwunden werden, daher wird neuer IEA Annex gestartet.
- Technische Entwicklungen in Richtung hoher Temperaturen
- Vorhandene Anwendungen zeigen große Möglichkeiten auf.

Ende

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Hinweis auf:

CHILLVENTA 2010

Fachprogramm Chillventa Congressing 2010

Chillventa Congressing Dienstag, 12.10.2010

CHILLVENTA 2010

IEA- Workshop Industrial Heat Pumps
Vorträge der Teilnehmer des
IEA HPP IETS Annex:
Application of Industrial Heat Pumps

(aus Frankreich, Kanada, Schweden,
Dänemark, Japan, Südkorea, Schweiz,
Niederlande und Deutschland)

